

## 크실렌 산화공정 냉각장치의 고장진단 전문가시스템의 구축

### An Establishment of Expert System for Fault Diagnoses of the Cooling System In the Xylene Oxidation Reaction Process

심종철\*·김창은\*\*·주용준\*\*\*

Jong-Chil Shim · Chang-Eun Kim · Young-Jun Ju

(1996년 3월 16일 접수, 1996년 12월 14일 채택)

#### ABSTRACT

We establish an expert system for the xylene oxidation reaction process of chemical plants using HAZOP(Hazard and Operability Studies). Our research focus is only reduced to the cooling system of the total chemical plant due to lack of information. This expert system shows the priority of reasons for the system failure using confidence factor.

#### 1. 서 론

노동부 산재통계에 의하면 1964년 부터 1993년 까지 2백8십여만명의 근로자가 산업재해를 입었고, 이 중 3만7천여명이 사망, 40여만명은 신체장애자가 되었고, 총 20조여원에 달하는 경제적 피해를 보았다[노동부 산재 통계집 '94]. 이러한 산업재해로 말미암아 인적손실과 물적손실 등은 기능 인력의 손실, 국제 경쟁력의 약화 등으로 국가 및 사회, 개인에게 엄청난 악영향을 끼치고 있다. 산업현장 중에서 화학플랜트는 그 구조가 복잡하

고, 고도의 자동제어시스템으로 구성되어 있으며, 취급하는 물질은 대체적으로 발화성, 폭발성, 독성을 지닌 유해·위험물질이 많고, 이들을 취급·처리하는 조건이 가혹하며, 그 물질들이 보유한 에너지가 타산업에 비하여 대단히 크므로, 화학플랜트는 장비나 설비의 결함, 크랙이나 파열 등에 의한 유해·위험물의 누출이나 반응폭주, 화재 및 폭발 등이 일어날 수 있는 잠재적인 위험성이 내포되어 있어서, 사고가 일어나면 대형사고가 되어 막대한 인적손실과 물적 손실은 물론 타산업에까지 영향을 미치며, 때로는 자연환경을 크게 오염

\* 명지대학교 대학원 산업공학과

\*\* 명지대학교 산업공학과

\*\*\* 중경전문대학교 공업경영과

시키는 경우도 있을 수 있다. 이와 같이 화학플랜트는 잠재적인 위험성이 크므로 각 공정에 존재하는 위험성을 모두 찾아내어(identification) 이들 위험성을 분석, 평가하므로써 이를 바탕으로 하여 위험에 대처할 수 있는 방안을 강구하여야만 한다. 특히 새로운 플랜트를 설계하려할 때에는 설계시부터 위험을 찾아내어 위험공정부분을 제거하거나 수정하여, 화학공정의 위험을 확인하기 위해서는 위험을 찾으려는 노력과 위험확인방법(기법), 그리고 공정에 필요한 기계 혹은 장치 등에 관한 기술이 있어야 한다.

본 연구는 위험성이 큰 화학플랜트에서 크실렌 산화공정의 냉각제통에 잠재한 위험성을 HAZOP (Hazard and Operability Studies)<sup>9,13</sup> 기법을 통하여 잠재한 위험공정부분을 미연에 파악하고, 평가하여 안전의 효율성을 높이며, 또한 평가후 이를 전문가시스템을 통하여 취약점을 미연에 파악할 수 있도록 냉각장치의 전문가시스템을 제시하고자 한다. 전문가시스템은 문제해결에 도움을 주는 고수준의 전문기술을 갖고 있으며, 이 전문기술은 정확하고 효과적인 문제 해결방법을 도출하기 위해, 어떤 연구 분야에서 최상의 사고력을 가진 상급 전문가의 지식을 의미한다. 또한 전문가시스템은 예측 모델링 능력을 가지고 있으므로, 주어진 문제를 상황에 따라 만족할 만한 해답을 제공하고, 새로운 상황에 대하여 변화하는가를 설명할 수도 있으므로, 잠정적인 데이터를 평가함으로써 이해하게 된다. 예로서 Lister는 전자회로에서의 고장요인을 분석하기 위하여 사용되어온 Fault Tree의 구성으로 전자회로에서의 고장진단시스템에 적합한 rule, frame 및 constraints의 형태에 관한 연구를 하였다<sup>12</sup>). 그러나 전문가시스템은 연구범위의 한정성과 인간전문가의 절대적인 도움을 필요하므로 공학기술자의 한정된 이해가 단점으로 작용될 수 있으며, 적용범위가 개발된 일정분야나 특정부서에 한정되는 것이라 할 수 있다.

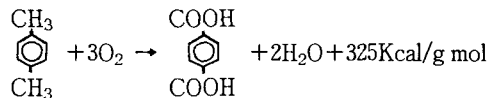
본 연구를 통하여 개발된 시스템은 사용자로부터 고장의 현상을 받아들여 전문가적 지식으로 필요한 테스트를 거쳐 그 요인을 추론하여 줄 것이다. 따라서 일반 사용자들도 전문가와 같이 손쉽게 냉각장치의 고장 요인을 밝힐 수 있게 될 것이다.

## 2. 지식베이스의 형성

발생할 수 있는 각종 고장의 원인을 분석 진단할 수 있는 전문가시스템을 형성하기 위하여 구성을 먼저 알아보고, 다음 본 연구가 필요로 하는 냉각장치 고장진단을 위한 지식베이스를 구축하여 실제 진단과정을 연구한다.

### 2.1 크실렌 산화공정

연구대상으로 하는 크실렌 산화공정은 para-xylene의 액상산화촉매에 의한 완전연속공정으로서 반응부분, 결정화부분, 제품회수부분 및 용매회수부분의 4개부분으로 구성되어 있다. 반응부분에서는 예열된 용매 aceticacid와 para-xylene 및 촉매(cobal acetate, manganese acetate, 4-bromoethane)용액을 반응기에 투입하고 약 20kg/cm<sup>2</sup> 정도로 압축된 공기와 함께 공급한다. 이때 반응기내의 조건은 220~225°C, 22~25kg/cm<sup>2</sup>이다<sup>1)</sup>. 반응은 고도의 발열반응이므로 응축기를 통하여 열을 제거하여 소정의 압력하에서 환류 시킴으로서(Reflux) 온도를 조정하도록 하는 냉각계통도는 Fig. 1과 같고 화학반응식은 다음과 같다.



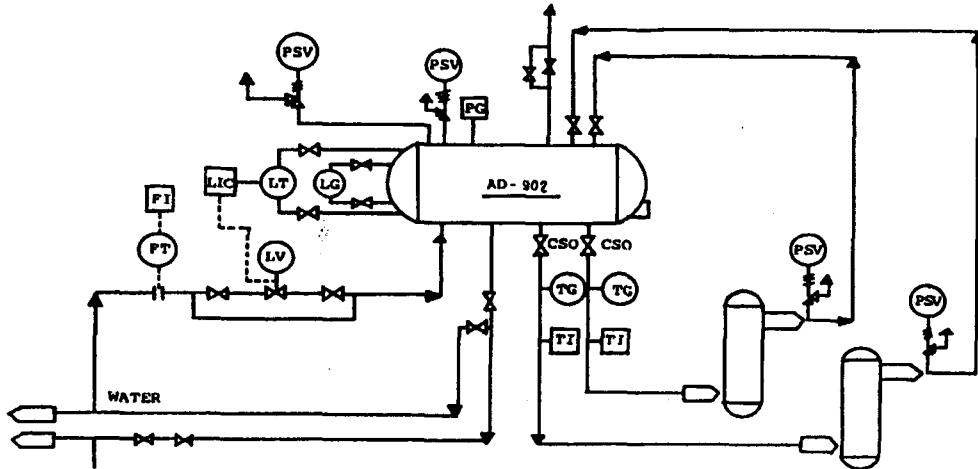
크실렌 산화공정에서 냉각계통인 응축기(열교환기)가 고장이 나면 반응기 내부에서 온도가 상승하고, 이에 따라 반응폭주(run away)가 일어날 수 있으므로, 이 공정에서 반응폭주를 방지하기 위해서는, 냉각장치가 중요한 역할을 한다.<sup>2,3,5,7,8,15)</sup>.

### 2.2 지식베이스의 구성

크실렌 산화공정은 심한 발열반응공정으로서 냉각계통에 이상이 생기어 냉각이 되지 않을 때는 반응폭주에 의하여 폭발을 일으킬 수 있는 위험한 공정으로서, HAZOP 기법은 크실렌 산화공정중 냉각계통에 존재하는 정성적인 위험을 찾아내어 밝히기 위함이며, 아래의 Table 1<sup>10)</sup>은 HAZOP기법의 guide word이다.

여기서 HAZOP을 통하여 고장의 요인을 전문가 적 지식으로 판단하여 주기 위하여는 지식베이스 를 구축하는 것이 중요과제라 하겠다. 냉각계통에

냉각수가 공급이 중단된다거나 응축기가 제기능을 발휘하지 못할 위험요인을 찾기위하여 냉각계통의 HAZOP을 실시한 결과는 Table 2로 나타내었으



범 례	PG =Pressure Gauge	FT =Flow Transducer
	CSO =Car Sealed Open	PSV =Pressure Safety Valve
	LG =Level Gauge	TG =Temperature Gauge
	LT =Level Transducer	TI =Temperature Indicator
	LIC =Level Indicator Controller	

Fig. 1 Control loops of the xylene oxidation reactor cooling system

Table 1 Example deviation of guide words

Guide Wordst	Mean	Deviation
No, Not, None, Reverse	Negation of the Design Intent	No forward flow when there should be, i.e., NO FLOW or REVERSE FLOW.
More of	Quantitative Increase	More of any relevant physical property than there should be, e.g., HIGHER FLOW(rate or total quantity), HIGHER TEMPERATURE, HIGHER PRESSURE, HIGHER LEVEL, HIGHER VISCOSITY, etc.
Less of	Quantitative Decrease	Less of any relevant physical property than there should be, e.g., LOWER FLOW(rate or total quantity), LOWER LEVEL, etc.
Part of	Qualitative Decrease	Composition of System different from what it should be, e.g., CHANGE IN RATIO OF COMPONENTS, COMPONENT MISSING, etc.
More than, As well as	Qualitative Increase	More componts present in the system than there should be, e.g., EXTRA PHASE PRESENT(vapor, solid), IMPURITIES(air, water, acids, corrosion products), etc.
Other than	complete Substitution	What else can happen appart from normal opration, e.g., STARTUP, SHUTDOWN, UPRATING, LOW RUNNING, ALTERNATIVE OPERATION MODE, FAILURE OF PLANT SERVICES, MAINTENANCE, CATALYST CHANGE, etc.

며, HAZOP 수행결과 응축기의 수위가 낮아질 수 있는 경우는 수원지의 물이 없거나 급수펌프의 고장, 수위 제어시스템의 고장, 급수라인의 파열이나 막힘, flow transducer의 고장, 응축기의 tube

bundle 중 tube가 막힘 등으로서 이러한 원인으로 인하여 응축기에서 수위가 낮아지면 응축으로 인한 열회수가 되지 아니하여 반응기내의 온도가 상승하고 반응폭주를 일으키어 폭발에 이르게 된다.

Table 2 HAZOP STUDY on cooling water service system

Guide word	Deviation	Possible causes	Consequences	Action
Not, No	No flow	1) Cooling water source* failure 2) Water make up pump break down 3) Level control system Fails closed 4) Plugged cooling line or line rupture 5) Flow transducer fails 6) Tubes in condenser plugged	① No or low level in condenser Ad-902 ② No cooling ③ Temperature increase in reactor ④ Possible thermal runaway As for 1) As for 1) As for 1) As for 1)	① Install low level alarm on LIC  ① Provide spare water make up pump ② Interlocking between flow transducer of cooling line and spare pump power ① Provide two separate level transducer on AD-902 ② Regularly inspect LT, LIC, LV and instrument air ① Regularly careful check for water make-up line  ① Provide two separate flow transducer ① Regularly inspect tube bundle in condenser
More	More flow	1) Control valve fails to open 2) Controller fails opens valve	① Overflowing of condenser	① Check maintenance procedure and schedule
Less	Less flow	1) Controller valve fails to respond 2) Partly plugged cooling line	① Covered under "No"	① Covered under "No"
As well as	Reactor product in cooling water	1) Leaking tubes	① Product lost ② Loss of product yield ③ Contamination of water	① Covered under "More"
Other Than	Another material besides cooling water	1) Water source contaminated 2) Backflow from sewer	① Possible loss of cooling	① Isolation of cooling water source ② Install check valve to prevent reverse flow

이를 방지하기 위한 조치로는 다음과 같다.

- 1) 콘덴서내의 냉각수의 수위가 낮아질때는 경보가 울려 근로자에게 알리게 한다.
- 2) 냉각수 저장탱크에는 항상 적정량의 물이 저장되어 있도록 하고, 수위가 낮아질 때는 경보가 울리도록 한다.
- 3) 냉각수 공급펌프는 주펌프가 고장시에는 즉시 가동할 수 있는 예비펌프를 설치한다.
- 4) 콘트롤 밸브의 신뢰성을 높이거나 2중으로 설치한다.
- 5) 콘트롤러의 신뢰성을 높이거나 2중으로 설치한다.

- 6) flow meter를 적절히 관리하여 신뢰성을 높여야 한다.

그러나 데이터퀘스트의 조사에 의하면 제품의 개발과정에서 각 단계의 설계변경비용은 10의 배수로 증가한다고 한다<sup>14)</sup>. 즉 개발단계의 설계변경에 1천달러 들었다면 디자인 테스트 단계에서는 1만달러가 들고, 생산준비단계에서는 10만달러, 시험생산단계에서는 1백만달러, 최종양산단계에서 발견됐을 경우 복구비용은 1천만달러가 필요하다. 만약 제품이 고객에게 판매되어 수리하거나 회수/폐기해야 할 경우 그 비용은 1억달러를 훨씬 넘을 것이다.

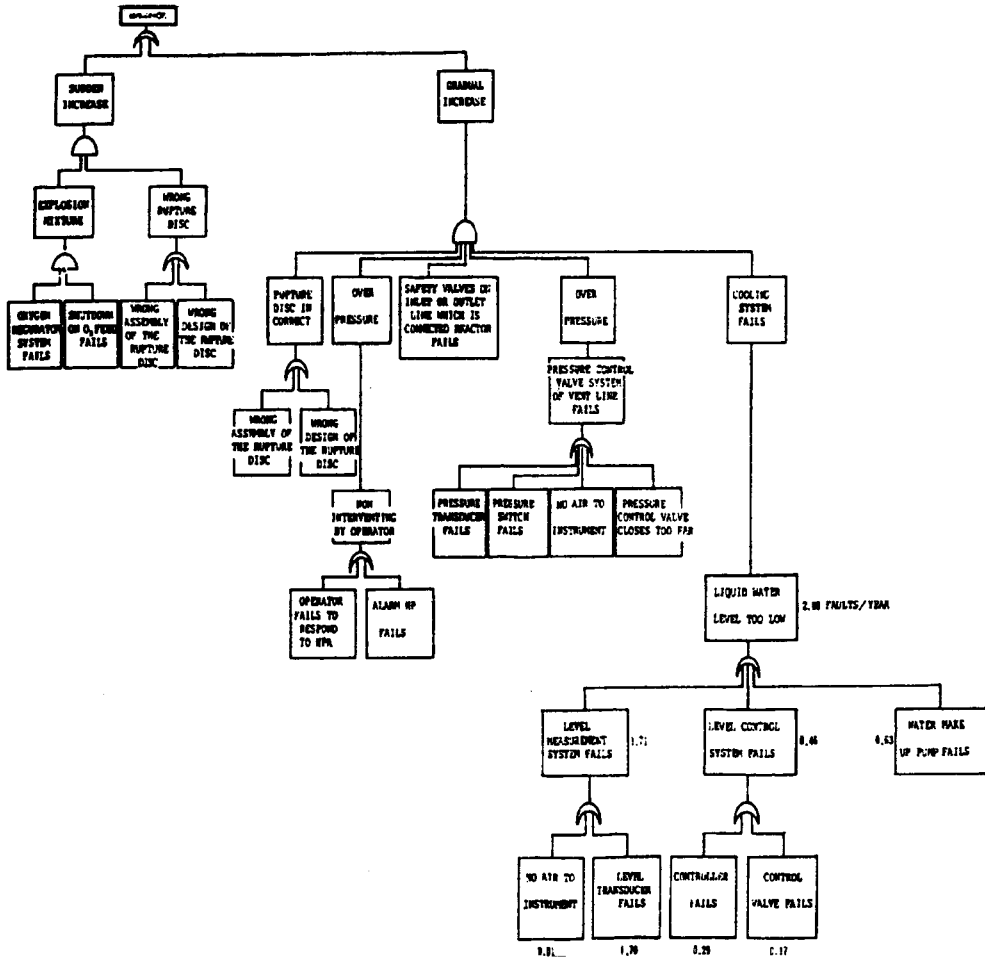


Fig. 2 FAULT TREE for primary events leading to event "EXPLOSION" in the xylene oxidation reactor modified

따라서 본 연구에서 필요로하는 goal은 냉각장치 고장에 이르게 하는 냉각수의 수위가 낮아지게 되는 현상은 다음 중 한가지이다.

- 1) Level Measurement System Fails
- 2) Level Control Fails
- 3) Water make up Pump Fails
- 4) No Air to Instrument
- 5) Level Transducer Fails
- 6) Controller Fails
- 7) Control Valve Fails

반응기내의 압력이 증가하면 크실렌 산화반응공정에서 폭발해해가 발생된다. 압력의 증가는 급격한 증가와 점진적인 증가로 나눌 수 있고, 급격한

압력증가현상은 폭발범위내의 크실렌과 산소혼합물이 폭발하고 그때 파열판등 안전장치가 제대로 작동되지 않았을 경우이고, 점진적인 압력증가 현상은 냉각계가 고장을 일으키고, 이때 안전장치가 제대로 작동되지 않았을 때이다. 또 냉각장치가 고장을 일으키기 위해서는 냉각수의 액위가 정확히 측정되지 못하거나 액위제어가 잘못되었거나, 급수펌프가 고장이 났을 때로 나누어 생각할 수 있다. 따라서 이를 FT(fault tree)도로 작성하면 Fig. 2와 같다.

본 지식베이스에서는 위 7가지 요인중 하나를 결론으로 추론해 낼 수 있는 rulebase를 구성하고, FT도의 Fig. 2로 고장요인에 도달하는 과정을

FT(fault tree)로서 나타내었다. 위 그림에서 goal에 이르는 계층적 현상들로부터 rule을 구성하였으며, 냉각장치에 국한하여서만 rule을 구성하였다. 이 FT도 Fig. 2에서 냉각수 액위가 낮을 수 있는 고장을 데이터<sup>6)</sup>를 이용하여 응축기의 액위가 낮아질 고장율을 계산하면 년당 2.80건/년(2.80 FAULTS/YEAR)이다. 여기서 고장률은 연간 점검횟수에 영향을 미치는데 여기서는 level transducer와 flow transducer를 1개씩 설치하였으므로, 한개만 설치하였을 경우에는 년 1~2회의 정기점검만 가능하나 이 경우는 점검횟수를 조정할 수 있다. 고장률 계산은 년간 2회 점검하는 경우를 기준으로 실시하였다.

### 2.3 고장진단시스템의 구현

본 연구에서 필요로 하는 냉각장치에 국한하여 제품의 설계변경을 하지 않고 기존의 제품을 그대로 사용하기 위하여서 전문가시스템을 구현하여, 냉각장치의 고장진단은 rulebase를 기본으로 하는 소규모전문가시스템으로 한정된 고장요인을 대상으로 하고 있다. 즉 한정된 요인중 하나 또는 다수를 goal로 선택하는 진단시스템으로 일반적인 backward chaining의 control structure에 의해 개발될 수 있다<sup>11)</sup>.

본 연구에서 필요로 하는 냉각장치에서 발생하는 각종 고장의 원인을 분석 진단 할 수 있는 전문가시스템을 형성하기 위한 냉각장치의 구조는 Fig. 1과 같이 표시되며, 본 연구의 목적에 적합한 소규모의 시스템을 쉽게 구성할 수 있게 만들어진 EXSYS<sup>12)</sup>를 이용하여 냉각장치의 고장요인을 분석하였다. 냉각장치 전문가시스템의 한 부분에서 발생하는 고장의 요인을 전문가적 지식으로 판단해 주기 위하여는 지식베이스를 구축하는 것은 HAZOP을 통하여, 기 제시된 원인을 하나의 결론으로 rulebase를 구성하였으며, 즉 HAZOP 수행결과 응축기의 수위가 낮아질 수 있는 경우를 각 위험요소를 보완하여 공정에 대한 FT도의 Fig. 2로 고장요인에 도달하는 과정을 나타내었다. Fig. 2에서 Goal에 이르는 계층적 현상들로부터 rule을 구성하였으며, 냉각장치에 국한하여서만 rule을 구성하였다. Fig. 3는 본 시스템의 지식베이스를 형성하고 있는 rule 이다<sup>11)</sup>.

예로서 본 Cooling System Checker expert system을 실행하면 시스템은 첫번째로 Fig. 4에 나타난대로 사용자의 질문을 유도하게 된다. 다음 Fig. 5에서 사용자가 이상 여부에 Cooling System Checker는 냉각기의 수위의 이상여부에 대하여 질문을 하며, 사용자가 “냉각기의 수위가 내려갔다”를 대답하면, 다음 Fig. 6에서 Cooling System Checker는 냉각기의 수위의 이상여부에 관련된 증상을 찾아내어 다음 질문을 하게되고, 사용자가 “수위 제어기가 정상작동을 하지 않는다”를 대답하면, 다음 Fig. 7에서 Cooling System Checker는 최종적으로 냉각기의 수위의 이상여부에 관련된 증상을 찾아내어 “제어기가 고장이다” 또는 “제어밸브가 고장이다”라는 결론을 내리게 되는 것이다.

그리고 confidence factor는 일종의 신뢰정도를 표시하는 방법으로서 확률과 유사한 의미를 가지고 있으나 확률은 전체의 합이 1이어야 하는 반면 confidence factor는 전체의 합이 항상 1일 필요는 없다. confidence factor의 결정방법은 신뢰정도의 단순평균을 이용하거나, 종속적 또는 독립적 관계를 이용한 -100에서 100 시스템을 이용하였다. confidence는 고장률의 비로 계산하여 예로 Table 3의 고장률 데이터에서 고장률이 0.75인 경우에는 confidence 75/100으로 계산하여 처리하였다.

본 전문가시스템은 사용자가 제공하는 데이터와 지식베이스 내의 rule에 근거하여 냉각장치에 발생하는 특정시설의 고장을 추출하여 준다. 따라서 시스템에서 유도되는 goal을 사용자가 제공하는 data의 정확성 및 rule의 기본 가정에 따라 그 실용성이 좌우된다. 즉 data를 제공하는 사용자의 confidence factor를 함께 고려하였을 경우, 시스템의 사용가능성은 더욱 높아질 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서 화학플랜트중 크실렌 산화반응공정의 냉각계통(심한 발열반응을 하여 온도제어에 실패할 경우 반응폭주에 의하여 폭발을 일으킬 수 있으므로 냉각계통이 온도제어의 핵심이 된다)에 관한 정성적인 분석방법인 HAZOP STUDY를 실시하여 위험성을 확인하고, 이를 FT로서 나타내었

으며, 고장요인을 추출하여 그것을 goal로 하고 사용자가 터미널이나 P.C.에서 host computer와의 대화과정에서 실제 경험할 수 있는 여러 현상들을 rule로 한 전문가시스템을 구축하였다.

Rule의 구성에는 테이타의 전달과정에서 발생

가능한 현상을 나타낼 수 있는 FT도가 사용되었으며 지식베이스에 근거한 추론과정에서는 사용자가 제공하는 고장현상에 대한 정보를 이용하여 고장의 요인을 추론하게 되었다. 본 생각장치 전문가시스템을 통하여 일반사용자들도 전문가적지식

```

QUALIFIERS:
/* Qualifier 1
Q> ~ 냉각기 수위가
V> 너무 내려갔다.
V> 수위가 정상이다.
/* Qualifier 2
Q> ~ 수위 계속기가
V> 정상작동을 하고 있다.
V> 정상작동을 하지 않는다.
/* Qualifier 3
Q> ~ 수위 제이기가
V> 정상가동을 하고 있다.
V> 정상작동을 하지 않는다.

CHOICES:
/* Choice 1
C> ~ 냉각기가 고장이 아니다.
/* Choice 2
C> ~ 계기 일정압력이 없다.
/* Choice 3
C> ~ 레벨 트랜듀서가 고장이다.
/* Choice 4
C> ~ 제이기가 고장이다.
/* Choice 5
C> ~ 제어밸브가 고장이다.
/* Choice 6
C> ~ 용수 공급 펌프의 고장이다.

RULES:
/* RULE NUMBER: 1
IF:
    냉각기 수위가 (수위가 정상이다.)
THEN:
    > 냉각기가 고장이 아니다. - Confidence=75/100
/* RULE NUMBER: 2
IF:
    냉각기 수위가 (너무 내려갔다.)
and: 수위 계속기가 (정상작동을 하지 않는다.)
THEN:
    > 계기 일정압력이 없다. - Confidence=10/100
and: > 레벨 트랜듀서가 고장이다. - Confidence=90/100
/* RULE NUMBER: 3
IF:
    냉각기 수위가 (너무 내려갔다.)
and: 수위 계속기가 (정상작동을 하고 있다.)
THEN:
    수위 계속기가 (정상작동을 하고 있다.)
/* RULE NUMBER: 4
IF:
    수위 계속기가 (정상작동을 하고 있다.)
and: 수위 제이기가 (정상작동을 하지 않는다.)
THEN:
    > 제이기가 고장이다. - Confidence=40/100
and: > 제어밸브가 고장이다. - Confidence=30/100
/* RULE NUMBER: 5
IF:
    수위 계속기가 (정상작동을 하고 있다.)
and: 수위 제이기가 (정상가동을 하고 있다.)
THEN:
    > 용수 공급 펌프의 고장이다. - Confidence=60/100

```

Fig. 3 Sample rules of the cooling system checker system

을 이용하여 여러 형태의 고장요인을 쉽게 밝혀낼 수 있을 것이며, 안전성 확보에 따른 재해 cost의 절감효과와 공정의 고장요인 진단 시간의 단축 및 시각화 등의 효과가 있을 것이다.

Table 3 Some instrument failure rate data from three chemical works (Anyakora, Engel and Lees, 1971)(Courtesy of the Institution of Chemical Engineers)

Instrument	No. at risk	Instrument years	Environment factor	No. of faults	Failure rate (faults/y)
Control valve	1531	747	2	447	0.60
Power cylinder	98	39.9	2	31	0.78
Valve positioner	334	158	1	69	0.44
Solenoid valve	252	113	1	48	0.42
Current/pressure transducer	200	87.3	1	43	0.49
Pressure measurement	233	87.9	3	124	1.41
Flow measurement (fluids) :	1942	943	3	1069	1.14
Differential pressure transducer	636	324	3	559	1.73
Transmitting variable area flowmeter	100	47.7	3	48	1.01
Indicating variable area flowmeter	857	409	3	137	0.34
Magnetic flowmeter	15	5.98	4	13	2.18
Flow measurement (solids) :					
Load cell	45	17.9	—	67	3.75
Belt speed measurement and control	19	7.58	—	116	15.3
Level measurement (liquids) :	421	193	4	327	1.70
Differential pressure transducer	130	62	4	106	1.71
Float-type level transducer	158	75.3	4	124	1.64
Capacitance-type level transducer	28	13.4	4	3	0.22
Electrical conductivity probes	100	39.8	4	94	2.36
Level measurement (solids) :	11	4.38	—	30	6.86
Temperature measurement (excluding pyrometers) :	2579	1225	3	425	0.35
Thermocouple	772	369	3	191	0.52
Resistance thermometer	479	227	3	92	0.41
Mercury-in-steel thermometer	1001	477	2	13	0.027
Vapour pressure blub	27	10.7	4	4	0.37
Temperature transducer	300	142	3	124	0.88
Radiation pyrometer	43	30.9	4	67	2.17
Optical pyrometer	4	3.4	4	33	9.70
Controller	1192	575	1	164	0.29
Pressure switch	549	259	2	87	0.34
Flow switch	9	3.59	—	4	1.12
Speed switch	6	2.39	—	0	—
Monitor switch	16	6.38	—	0	—
Flame failure detector	45	21.3	3	36	1.69
Milivolt-current transducer	12	4.78	—	8	1.67
Analyser :	86	39.0	—	331	8.49
pH meter	34	15.8	—	93	5.88
Gas-liquid chromatograph	8	3.43	—	105	30.6
O <sub>2</sub> analyser	12	5.67	—	32	5.65
CO <sub>2</sub> analyser	4	1.90	—	20	10.5
H <sub>2</sub> analyser	11	5.04	—	5	0.99
H <sub>2</sub> O analyser (in gases)	3	1.38	—	11	8.00



Instrument	No. at risk	Instrument years	Environment factor	No. of faults	Failure rate (faults/y)
Infrared liquid analyser	3	1.43	—	2	1.40
Electrical conductivity meter (for liquids)	5	1.99	—	33	16.70
Electrical conductivity meter (for water in solids)	3	1.20	—	17	14.2
Water hardness meter	3	1.20	—	13	10.9
Impulse lines	1099	539	3	416	0.77
Controller settings	1231	609	—	84	0.14

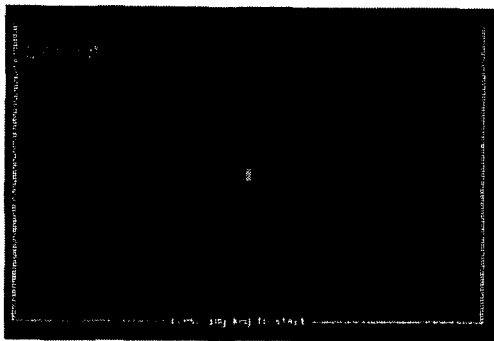


Fig. 4 First query of the inference process

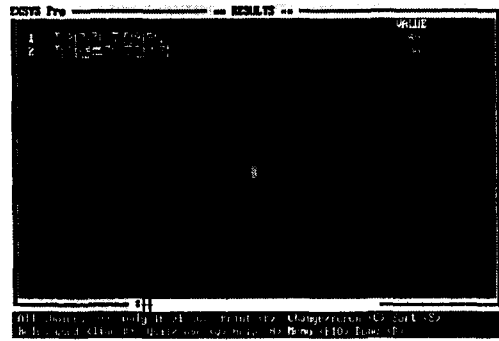


Fig. 6 Selection of the response on alternate terminal

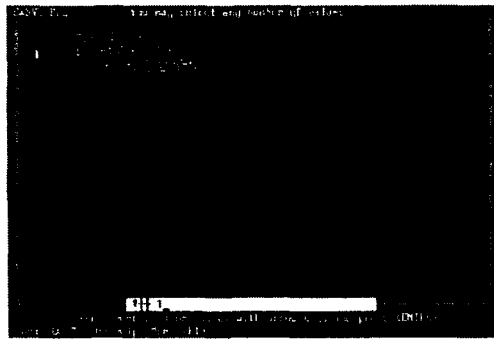


Fig. 5 Selection of the response on terminal

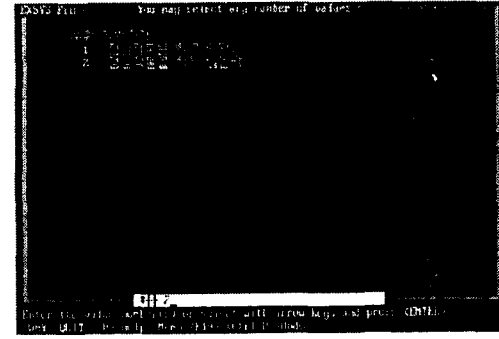


Fig. 7 Final conclusion of the inference process

### 참 고 문 헌

- 1) 이종원, 석유화학공업, 한국의 화학공업, 한국화학공학회, p. 90, 1982.
- 2) Bourne, J.R., Chem. Eng. Sci., Vol. 42, No. 9, p. 2183, 1987.
- 3) Bourne, J.R., Chem. Eng. Sci., Vol. 42, No. 9, p. 2193, 1987.
- 4) Exsys Professional, Exsys Inc. 1988.
- 5) Frank P. Lee, Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, Chap. 8, p. 142, 1989.
- 6) Frank P. Lee, Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, Chap. 13, p. 342, 1989.
- 7) Gygax, R., Chem. Eng. Sci., Vol. 43, No. 8, p. 1759, 1988.

- 8) Gygax, R., Inter. Symp. Runway Reaction, p. 53, 1989.
- 9) Henry Ozog, Lisa M. Bendixen, Hazard Identification and Quantification, Chem. Eng. Progress, pp. 55~64, 1987.
- 10) ICI Central Safety Dept., Hazard and Operability Studies, Chemical Industries Association Ltd., pp. 1~42, 1977.
- 11) James P. Ignizio, Introduction to Expert Systems, McGRAW-HILL, Inc, pp. 111~151, 1991.
- 12) Lister, R., Electronic Fault Diagnosys : Fault Trees and Expert Systems, Applications of Expert Systems, Vol. 2, pp. 266~289.
- 13) Paul Guymer, Geoffrey D. Kaiser, Probabilistic Risk Assessment in the CPI, Chem. Eng. Progress, pp. 37~45, 1987.
- 14) The Race to Market Heats up : Machine Design, p. 14, 1993.
- 15) Vemuri, B., AICHE J., Vol. 35, No. 6, p. 1039, 1989.